

不同施肥模式对小麦产量和品质的影响

盛 康, 潘广元, 李友强, 董召荣*, 宋 贺*

(安徽农业大学农学院, 合肥 230036)

摘 要: 通过对不同碳氮管理方式下华北平原南端的皖麦 68 品质和产量进行研究, 探讨该地区合理的碳氮管理措施。结果表明, 与农民传统施肥相比, 减氮处理没有显著降低小麦关键时期叶绿素含量、抗氧化酶活性, 也没有改变显著降低皖麦 68 的产量和品质; 在所有碳氮处理中, 堆肥处理和有机肥处理的小麦产量最高, 分别为 8988.2、8949.9 kg·hm⁻², 显著高于其它处理, 这两个处理通过提高小麦后期叶片抗氧化酶活性和叶绿素含量增加小麦籽粒千粒重; 在小麦品质方面, 堆肥处理的蛋白质含量、容重、湿面筋含量、稳定时间和出粉率均分别显著高于有机肥处理。秸秆处理关键生育时期叶绿素含量和抗氧化酶活性、产量及品质均低于其它施肥处理。以上说明, 该地区在氮肥投入量方面有较大降低潜力, 短期小麦秸秆直接还田有降低小麦产量和品质的风险, 而施用有机肥和堆肥是该地区显著提高小麦产量和品质的有效措施。

关键词: 冬小麦; 产量; 品质; 皖麦 68

中图分类号: S512.11

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)04-0540-05

Effect of different fertilizer treatments on yield and quality of wheat

SHENG Kang, PAN Guangyuan, LI Youqiang, DONG Zhaorong, SONG He

(School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: To find a feasible C and N management method in wheat field, the effect of carbon and nitrogen application method on the quality and yield of medium-gluten wheat 'Wanmai 68' in the southern region of the North China Plain was studied. The results showed that reduction of nitrogen fertilizer did not obviously decreased the wheat's chlorophyll content and antioxidant enzyme activity during critical period for the growth of wheat; it also did not significantly lowered the yield and quality of 'Wanmai 68'. Among all the carbon and nitrogen treatments, wheat received compost and organic fertilizer noticeably performed better than those applied with other fertilizers with the highest yield of 8988.2 kg·hm⁻² and 8949.9 kg·hm⁻², respectively. Application of compost and organic fertilizer could increase the antioxidant enzyme activity and chlorophyll content in wheat leaves in its later growth stage and increase 1000-kernel weight of wheat grain as well. In an addition, the quality of 'Wanmai 68' including protein content, bulk density, wet gluten content and flour yield are higher and more stable when compost fertilizer was used compared to other organic fertilizers. Meanwhile, application of crop stalks during the critical period lowered the chlorophyll content, antioxidant enzyme activity, yield, and quality of 'Wanmai 68'. Results in this study suggest a great potential of decreasing nitrogen input in wheat production and direct returning crop stalk to the field might be a risk of decreasing wheat yield and quality in a short time. However, using compost and organic fertilizers could be an effective approach to greatly increase wheat yield and quality in this region.

Key words: winter wheat; yield; quality; 'Wanmai 68'

近年来, 我国农业生产中碳氮投入比例失衡, 主要表现化学氮肥投入过量, 有机物料投入偏少^[1]。

2010 年我国的化肥使用量为 5838.85 万 t, 其中氮肥用量为 2399.89 万 t^[2]。张福锁等^[3]对国内 588 个田

收稿日期: 2014-03-13

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103001), 安徽省农业科技成果转化项目(1404032001)和安徽省教育厅重大科技项目共同资助。

作者简介: 盛 康, 男, 硕士研究生。E-mail: skyshengkang@126.com

* 通信作者: 董召荣, 教授, 博士生导师。E-mail: d3030@163.com 宋贺, 博士, 讲师。E-mail: songhesonghe@foxmail.com

田间试验结果表明,我国小麦氮肥利用率平均只有 28.2%。过量的氮肥投入不仅是一种资源的浪费,还会导致土壤质量退化。土壤中过量的化肥氮一部分通过反硝化作用产生的 N_2O 、 N_2 和氨的挥发排放到空气中;另一部分通过硝态氮淋失进入地下水或通过地表径流流失,危害周围环境。随着氮肥用量的不断增加和农田灌溉条件的改善, N 流失造成的环境问题在我国表现越来越突出^[4]。另据黄鸿翔等^[5]的估算,2002 年全国有机肥料资源总量约 48.8×10^8 t,其中畜禽粪便资源量为 20.4×10^8 t。而有机物料在农业生产中投入较少,容易导致这些有机物料在农村和农业生产环境中积累,造成面源污染。张维理等^[6]的研究表明:畜禽养殖已成农村面源污染主要来源。此外,大量的秸秆燃烧也会污染空气、危害人体健康、破坏土壤结构、造成农田质量下降^[7-9],影响农作物的产量和品质,影响农民收益。

因此,探索如何降低氮肥投入并提高有机物料投入,提高秸秆还田利用率,对提高土壤质量、改善农村和农业生产环境具有十分重要的现实意义。在实际生产中,碳氮管理的改变不但会强烈影响作物产量,还会对作物的品质产生影响。刘海英等^[10]的研究表明,与单纯施用无机肥相比,增施有机肥后,强筋和中筋小麦的亩穗数、千粒重、产量和籽粒淀粉含量都有大幅度的提升。王月福等^[11]的研究表明合理的氮素施用会显著影响小麦产量的同时,能提高籽粒蛋白质的含量,进而提高小麦的品质。增施有机肥可以降低土壤中 N 的损失,提高氮肥利用率^[12],提高土壤中微生物含量,进而提高土壤肥力^[13],达到增产的目的。因此,作者在华北平原南端,研究不同碳氮管理条件对中筋小麦产量和品质的影响,为该地区合理的碳氮管理措施提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验于 2012-2013 年在安徽省涡阳县农技推广中心试验基地进行。试验田土壤为砂浆黑土,有机质含量 $13.47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量 $1.23 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 值为 7.6,速效磷 $15.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $182.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,铜 $0.56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,锌 $0.42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,铁 $11.52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,锰 $12.41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验地前茬作物为玉米。供试小麦品种为皖麦 68。

试验处理:(1)空白对照处理(CK),不施用任何有机肥和化学氮肥;(2)农民传统施肥处理(CN),在小麦季施用化肥氮 $400 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。拔节期

追肥,基追比 5:5。(3)推荐减氮处理(RN),在小麦季施用化肥氮 $240 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。拔节期追肥,基追比 5:5(目标产量定为 $8250 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。(4)有机肥处理(MN),在小麦季,基施风干鸡粪 $10 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,相当于推荐减氮处理的施氮量。(5)添加秸秆处理(SN),施用小麦秸秆 $5 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,粉碎成 5-10 cm 的小麦秸秆分别相当于施氮 $25 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 被添加和翻耕到土壤中,其余 $215 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,按基追比 5:5 施用。(6)堆肥处理(TN),由小麦秸秆和鸡粪进行堆肥,堆肥后碳氮比为 25:1 进行堆肥。在小麦季施用含氮为 $120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的堆肥作为基肥,追肥为化肥氮 $120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。每个小区面积为 40 m^2 ($4 \text{ m} \times 10 \text{ m}$),三次重复。基本苗 $300 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$;播种期为 10 月 16 日。田间管理同当地大田。

1.2 方 法

1.2.1 叶绿素含量测定 分别与返青期、拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期用 CCM-200 叶绿素仪测定。

1.2.2 MDA 含量测定 依据赵海泉的方法^[14]对 MDA 的活性进行测定。

在各处理内选取完全展开且较一致旗叶的中间部分 0.25 g ,用 5.0 mL 酶提取液($50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸缓冲液)冰浴研磨,冰冻离心(10000 r , 5 min),酶提取液置于冰箱中备用,每重复 3 次;用硫代巴比妥酸法测定旗叶中丙二醛(MDA)含量。

1.2.3 产量性状测定 成熟前,调查单位面积穗数,蜡熟期每个小区取 20 个单茎进行室内考种,对样株进行穗部性状考察,并按每个小区 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 单收单打计产。

1.2.4 籽粒蛋白质测定 用瑞典 Foss 公司近红外谷物快速分析仪测定。

1.2.5 容重测定 按 GF-1351-78 标准,用上海 GGT-100 型容重器测定。

1.2.6 湿面筋含量测定 采用国标/T14608-93 手工洗面筋法,用瑞典 Felling numFer 公司 2100 型洗面筋仪测定。

1.2.7 稳定时间测定 采用 Brabender 公司生产的 Farinograph-E 型粉质仪测定。

1.2.8 出粉率测定 用 JC826-LRMM8040-3-D 实验室粉磨机测定。

1.2.9 沉降值测定 用 SDS 沉降值法测定。

1.2.10 硬度测定 用 SKC4100 单籽粒硬度测定仪测定。

用 Microsoft Excel 2003 软件整理试验数据并制表,用 spss19 软件进行方差分析,用 LSD 法进行差

异显著性检测。

2 结果与分析

2.1 对小麦生理性状的影响

2.1.1 对叶绿素含量的影响 由表 1 可知, 在返青期各处理中叶绿素含量为 19.66~22.67, 其中有机肥处理叶绿素含量最高, 空白处理叶绿素含量最低。拔节期除空白处理外, 各处理间叶绿素含量差异不

显著。各处理叶绿素含量均在孕穗期达到最大值, 有机肥处理和堆肥处理最高, 两处理间差异不显著; 其次是传统处理和减氮处理, 两处理差异不显著; 秸秆处理和空白处理最差。从孕穗期开始, 各处理的叶绿素含量均快速下降, 在抽穗期和灌浆期表现如下: 有机肥处理和堆肥处理最高, 两处理间差异不显著; 其次是传统处理和减氮处理, 两处理差异不显著; 秸秆处理和空白处理最差。

表 1 不同碳氮处理对皖麦 68 叶绿素 SPAD 值的影响

Table 1 Effects of N and C management on SPAD in wheat leaves of 'Wanmai 68'

处理 Treatment	返青期 Regreening period	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	抽穗期 Heading Stage	灌浆期 Filling stage
空白 Blank	19.66 ^c	24.64 ^b	30.58 ^d	19.12 ^d	7.78 ^d
传统 Tradition	21.19 ^{bc}	31.11 ^a	37.70 ^b	24.12 ^b	11.65 ^b
减氮 Nitrogen reducing	20.56 ^{bc}	31.01 ^a	36.90 ^b	24.02 ^b	11.52 ^b
有机肥 Organic fertilizer	22.67 ^a	31.64 ^a	42.80 ^a	26.53 ^a	14.08 ^a
秸秆 Straw stalk	20.15 ^{bc}	30.71 ^a	33.92 ^c	22.01 ^c	9.92 ^c
堆肥 Compost	22.26 ^a	31.14 ^a	41.32 ^a	25.64 ^a	13.65 ^a

表 2 不同碳氮处理对皖麦 68 旗叶 MDA 含量的影响

Table 2 Effects of N and C management on MDA in wheat flag leaves of 'Wanmai 68'

处理 Treatment	花后天数/d Days after flowering				
	5	10	15	20	25
空白 Blank	46.65 ^a	49.22 ^a	66.47 ^a	89.39 ^a	125.02 ^a
传统 Tradition	41.78 ^b	44.77 ^b	55.66 ^c	70.79 ^c	97.71 ^c
减氮 Nitrogen reducing	42.53 ^b	45.64 ^b	56.82 ^c	71.57 ^c	103.03 ^c
有机肥 Organic fertilizer	36.84 ^c	40.65 ^c	50.48 ^d	61.56 ^d	77.76 ^d
秸秆 Straw stalk	45.78 ^a	48.20 ^a	62.93 ^b	78.22 ^b	115.37 ^b
堆肥 Compost	36.02 ^c	41.32 ^c	51.16 ^d	62.39 ^d	80.88 ^d

表 3 不同碳氮处理对皖麦 68 产量及其构成因素的影响

Table 3 The effect of N and C management on yield of 'Wanmai 68' and its components

处理 Treatment	穗数/ $\times 10^4$ hm ⁻² Spike number	穗粒数 Kernels per spike	千粒重/g 1000-kernel weight	产量/kg·hm ⁻² Yield
空白 Blank	535.27 ^a	38.49 ^{bc}	33.65 ^f	4975.80 ^d
传统 Tradition	543.61 ^a	44.05 ^a	43.29 ^d	7851.60 ^b
减氮 Nitrogen reducing	520.26 ^a	41.18 ^{ab}	43.69 ^e	7719.60 ^b
有机肥 Organic fertilizer	553.61 ^a	42.88 ^a	45.83 ^a	8988.20 ^a
秸秆 Straw stalk	511.92 ^a	36.13 ^c	41.93 ^e	6116.10 ^c
堆肥 Compost	555.28 ^a	43.93 ^a	43.93 ^b	8949.90 ^a

2.1.2 对丙二醛含量的影响 由表 2 可知, 各处理旗叶 MDA 含量在开花后 15 d 前缓慢增加, 在花后 20d 迅速增加, 在花后 25 d 各处理 MDA 含量均达到该处理最高值。花后 5 d、10 d, 各处理 MDA 含量表现如下: 空白、秸秆>减氮、传统>堆肥、有机肥, 空白处理和秸秆处理间差异不显著, 减氮处理和传统处理间差异不显著, 堆肥处理和有机肥处理间差异不显著; 花后 15 d、20 d、25 d, 各处理 MDA

含量差异表现如下: 空白>秸秆>减氮、传统>堆肥、有机肥, 其中减氮处理和传统处理差异不显著, 堆肥处理和有机肥处理差异不显著。该结果表明: 有机肥处理和堆肥处理的小麦植株在籽粒成熟过程中延缓旗叶衰老的效果最显著, 有利于延长籽粒灌浆期, 提高产量。

2.2 对小麦产量性状的影响

由表 3 可知, 有机肥处理产量最高 8988.20

kg·hm⁻², 其次是堆肥处理 8949.9 kg·hm⁻², 空白处理最低 5275.80 kg·hm⁻², 且有机肥处理、堆肥处理差异不显著。传统处理产量为 7851.6 kg·hm⁻², 减氮处理产量为 7719.60 kg·hm⁻², 且两处理间产量差异不显著。表 3 显示不同碳氮管理没有对亩穗数产生显著差异;传统处理、堆肥处理、有机肥处理和减氮处理

的穗粒数分别为 44.05、43.93、42.88 和 41.18 粒·穗⁻¹, 四个处理间差异不显著, 其次是空白处理 38.19 粒·穗⁻¹, 秸秆处理最低为 36.13 粒·穗⁻¹。各处理的千粒重差异极显著, 有机肥处理千粒重最高为 45.83 g, 其次是堆肥处理为 43.93 g, 空白处理千粒重最低为 33.65 g。

表 4 不同碳氮处理对皖麦 68 品质性状的影响
Table 4 The effect of N and C management on the quality of 'Wanmai 68'

处理 Treatment	蛋白质含量/% Protein content	容重/g·L ⁻¹ Unit weight	湿面筋含量/% Wet gluten content	稳定时间/min Stable time	出粉率/% Flour rate	沉降值/mL Sedimentation volume	硬度 Hardness
空白 Blank	10.57 ^e	766.00 ^e	26.20 ^e	5.07 ^e	63.37 ^d	29.70 ^e	56.33 ^c
传统 Tradition	12.62 ^c	782.00 ^e	28.69 ^e	6.25 ^c	65.13 ^b	34.23 ^c	57.33 ^{abc}
减氮 Nitrogen reducing	12.45 ^c	785.00 ^{bc}	28.33 ^e	6.17 ^c	65.13 ^b	34.53 ^c	57.67 ^{ab}
有机肥 Organic fertilizer	13.15 ^b	787.67 ^b	29.76 ^b	6.60 ^b	65.23 ^b	35.37 ^b	57.33 ^{abc}
秸秆 Straw stalk	11.15 ^d	772.33 ^d	27.45 ^d	5.57 ^d	64.43 ^c	30.93 ^d	56.67 ^{bc}
堆肥 Compost	13.76 ^a	798.33 ^a	30.75 ^a	6.90 ^a	66.47 ^a	36.60 ^a	58.33 ^a

2.3 对小麦品质性状的影响

由表 4 可知, 蛋白质含量变幅为 10.57%~3.76%, 差异显著, 其中堆肥处理的蛋白质含量最高为 13.76%, 达到优质中筋小麦蛋白质含量要求, 其次为有机肥处理, 蛋白质含量为 13.15%, 而空白处理蛋白质含量最差仅为 11.17%。籽粒容重变幅为 776.00~798.33 g·L⁻¹, 均达国标优质小麦要求, 其中堆肥处理的小麦籽粒容重最高为 798.33 g·L⁻¹, 其次是有机肥处理为 787.67 g·L⁻¹, 空白处理最差。减氮处理和传统处理之间没有显著性差异。湿面筋含量以堆肥处理最高为 30.75%, 比其他处理(有机肥、传统、减氮、秸秆、堆肥)分别高 1.24%、1.34%、1.34%、2.04%、2.1%。除空白处理外, 其他处理的稳定时间均在 6 min 以上, 达到中筋小麦的标准, 其中以堆肥处理最高为 6.90 min。出粉率以堆肥处理最高为 66.47%, 比其他处理(有机肥、传统、减氮、秸秆、堆肥)分别高 0.99%、1.06%、2.42%、3.1%、3.55%。沉降值以堆肥处理最高为 36.60 mL, 比其他处理(有机肥、传统、减氮、秸秆、堆肥)分别高 1.23、1.37、2.07、5.67 和 6.9 mL。籽粒硬度以堆肥处理为最高, 为 58.33%, 减氮处理为 57.67%, 空白处理最低为 56.33%。

3 讨论

传统处理和减氮处理的实际产量分别为 8851.60、8719.60 kg·hm⁻², 两者差异不显著(表 3); 首先, 传统处理和减氮处理的蛋白质含量、容重、湿面筋含量、稳定时间、出粉率、沉降值、硬度等

方面差异均不显著(表 4); 此外, 两者的叶绿素含量和 MDA 含量在小麦生长各时期差异也不显著。说明与传统施肥方式相比, 减氮施肥方式并不会对小麦生长造成影响, 也未造成减产或造成籽粒品质不良。巨晓棠^[15]的研究也表明, 在大田生产中, 华北平原地区的氮肥使用量为 220 kg·hm⁻², 基本与本试验减氮处理一致。由此说明, 该地区氮肥投入量方面有较大降低潜力。

较其它施肥处理, 秸秆处理各个生长时期的小麦叶片叶绿素含量最低(表 1), 而叶片 MDA 含量则最高(表 2)。同样, 秸秆处理的小麦实际产量、籽粒品质也均低于其它施肥处理(表 3,4)。由此说明, 尽管很多研究表明长期施用秸秆还田可以提高作物产量和土壤有机质含量^[16], 但本研究表明, 第一年施用秸秆不利于小麦植株叶绿素的合成, 并造成植株生长后期 MDA 含量较高, 植株过早衰老, 影响作物产量和品质。王岩等^[17]和唐玉霞等^[18]研究表明, 施用高 C/N 的秸秆会增加土壤微生物对矿质态氮的固持, 造成秸秆和小麦根系竞争氮素, 不利于小麦的生长发育、优质和高产。此外, 还有研究表明, 秸秆直接还田时其中的虫卵和带菌体等容易引起作物病害^[19-20]。因此在华北平原南端地区, 秸秆直接还田的残效问题还有待深入研究。

有机肥和堆肥处理的实际产量最高(表 3), 分别是 8988.20、8949.90 kg·hm⁻², 两者基本无差异。同时, 通过品质分析可知(表 4), 堆肥处理的小麦在蛋白质含量、湿面筋含量、出粉率、容重、沉降值等方面都是最优的。有机肥处理的小麦各生长时

期的叶绿素含量最高,其次是堆肥处理,两处理间差异不显著(表1),这说明有机肥和堆肥在氮素供应方面表现较好,有利于叶绿素合成,促进小麦植株生长。有机肥处理的MDA含量最低,其次是堆肥处理,两处理间差异不显著(表2)。由于MDA含量最低,可知两处理小麦植株衰老速度最慢,灌浆期延长,对提高小麦产量具有重要帮助,和产量指标相互印证。此结果与姜东等^[21]的研究结果一致。同时,已有研究表明^[22-23],有机肥投入能提高小麦根系活性,延缓根系衰老,增加作物对养分的吸收、促进作物的生长。本试验表明有机肥投入有利于提高产量、改善籽粒品质,因此有机物料的合理投入是该地区合理碳氮管理的重要措施。通过堆肥高温腐熟处理,可以分解小麦秸秆中的纤维素、杀灭堆料中的致病微生物和虫卵^[13],在减轻畜禽养殖业造成面源污染的同时,减少因为秸秆燃烧而造成的环境污染,消除因秸秆C/N比过高而造成的对作物生长的不良影响^[23]。因此,比较堆肥和有机肥可知:通过施用堆肥,可实现最优的小麦品质和最高的产量,有效缓解有机物料引起的面源污染并减轻因氮素淋失和秸秆焚烧造成环境污染。因此,堆肥处理为最优选择。

参考文献:

- [1] 马光庭. 生态有机肥与农业可持续发展[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 191-193.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [3] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [4] 袁新民, 王周琼. 硝态氮的淋洗及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2000, 17(4): 47-52.
- [5] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析[J]. 土壤肥料, 2006(1): 3-8.
- [6] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [7] 李周. 农业发展与环境[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [8] 李金香, 赵越, 李令军, 等. 麦秸焚烧导致的北京市大气污染时空分布和化学组成特征分析[J]. 环境科学学报, 2008, 28(9): 1904-1909.
- [9] 张金桃, 周传云. 农作物秸秆能源利用现状与前景[J]. 酿酒, 2007, 34(4): 12-15.
- [10] 刘海英, 朱命炜, 崔长海. 有机肥对强筋和中筋小麦籽粒产量及淀粉组成的影响[J]. 河南师范大学学报, 2009, 37(4): 105-107.
- [11] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 513-520.
- [12] 李伟, 戴亨林, 蔡国学. 有机无机复混肥料的肥料效应初探[J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(6): 67-72.
- [13] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 5-20.
- [14] 赵海泉. 基础生物学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [15] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
- [16] 徐祖祥. 长期秸秆还田对冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29(1): 10-13.
- [17] 王岩, 张莹, 沈其荣, 等. 施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 307-314.
- [18] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 不同碳氮比肥料组合对肥料氮生物固定、释放及小麦生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 37-40.
- [19] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪. 我国主要农区秸秆还田试验总结[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 336-339.
- [20] 李文革, 李倩, 贺小香. 秸秆还田研究进展[J]. 湖南农业科学, 2006(1): 46-48.
- [21] 姜东, 于振文, 许玉敏, 等. 有机无机肥料配合施用对冬小麦根系和旗叶衰老的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 440-447.
- [22] 杨玉爱, 叶正钱, 陈峰, 等. 有机肥料延缓日本黄瓜早衰作用的研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 447-459.
- [23] 李国鼎, 金子奇. 固体废弃物处理与资源化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1990: 10-13; 24-36.